

М.Б. Орунбеков¹ 

¹Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

E-mail: m.orunbekov@alt.edu.kz

ОЦЕНКА МЕТОДОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ OPENTRACK

Аннотация. Статья анализирует результаты сравнения и определения пропускной способности железнодорожной линии Жетиген-Алтынколь при интервальном регулировании движения поездов с применением технологий, фиксированных и подвижных блок-участков. Анализ проведен посредством микроскопического моделирования OpenTrack с использованием параметров действующего железнодорожного участка Курозек-Екпинди-Жарсу линии Жетиген-Алтынколь, подвижного состава, локомотива серии ТЭ33А и системы интервального регулирования.

Полученные результаты исследований показали эффективность применения технологий подвижных блок-участков, позволяющих сократить межпоездные интервалы по сравнению с системой фиксированных блок-участков. Сокращение межпоездных интервалов способствует повышению пропускной способности участка и является залогом экономической эффективности.

Ключевые слова. СИРДП-Е, фиксированный блок-участок, подвижной блок-участок, микроскопическое моделирование, OpenTrack, оценка

Введение.

Географическое расположение Казахстана позволяет играть ключевую роль в организации транспортного коридора Китай-Европа-Китай, например пограничные станции Достык и Алтынколь являются ключевым звеном в транспортировке грузов между Китаем и Европой через Казахстан.

На рисунке 1 приведены статистические показатели перевозки грузов в контейнерах за 2022 год с использованием авто и железнодорожного транспортов согласно данных Бюро национальной статистики РК, где видно, что преимущественно пользуется железнодорожный транспорт, так за указанный год доля автотранспорта в весовом эквиваленте составляет 609,7 тыс. тонн, тогда как железнодорожный транспорт – 23518,9 тыс. тонн.

■ Железнодорожный транспорт ■ Автомобильный транспорт

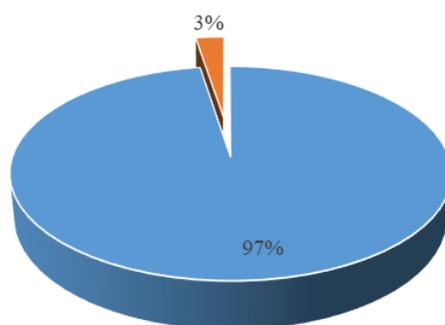


Рисунок 1 – Перевозки грузов в контейнерах

Кроме того, диаграмма на рисунке 2 свидетельствует о стабильном росте транзитных перевозок железнодорожным транспортом, а также высокий спрос на данный вид транспорта.

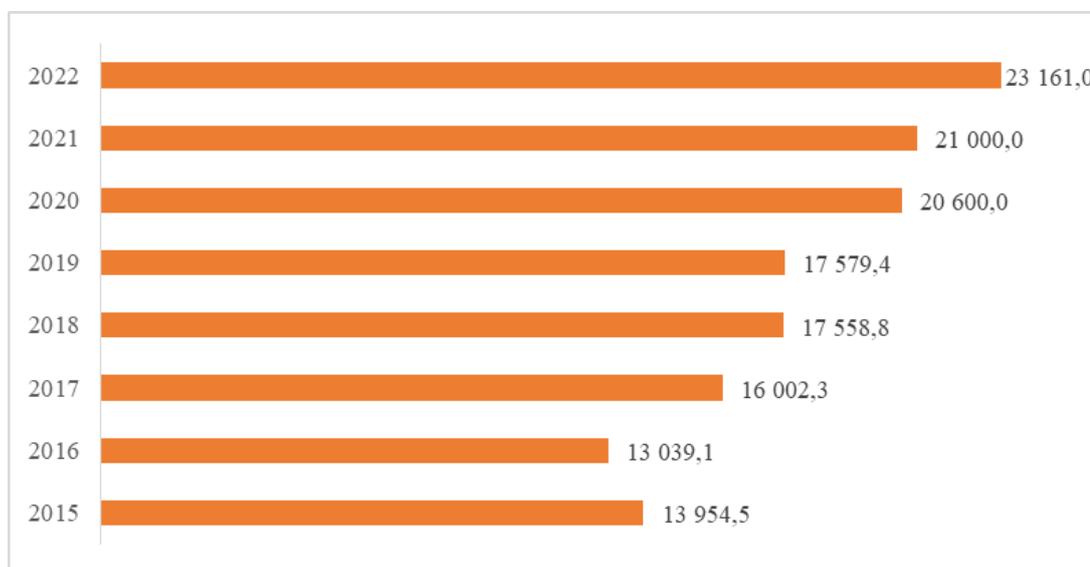


Рисунок 2 – Сведения по транзитным перевозкам железнодорожным транспортом

Материалы и методы.

С учетом перспектив транспортного коридора через Алтынколь-Жетиген главный оператор страны Акционерное общество «Қазақстан темір жолы» в 2012 году внедрил данный участок железной дороги длиной 293 км в эксплуатацию и оборудовал современной координатной системой интервального регулирования движения поездов СИРДП-Е с поддержкой технологии подвижных блок-участков, аналог европейской системы ETCS уровня 3 [1].

Координатные системы интервального регулирования движения поездов [2] по принципам разделения участков пути классифицируются на фиксированные, подвижные и виртуальные блок-участков [3, 4] и позволяют максимально сократить интервал между поездами с обеспечением высокого уровня безопасности, тем самым позволяет увеличить пропускную способность участка [5, 6, 7, 8, 9].

В целях гарантирования безопасности движения поездов при отсутствии надежной радиосвязи между системой регулирования и поездом, которое является критическим состоянием по условию безопасности [10] исследуются и разрабатываются гибридные модели координатных систем [11, 12].

В основном все системы интервального регулирования не зависимо от элементной базы базируются по двум методам разделения блок-участков, либо на основе фиксированных блок-участков, где их длина фиксирована и относительно к поезду координаты блок-участков не меняются, либо на подвижные – где их длина и координаты относительно к поезду динамические [13].

В работе [14] предложены дублирование двух методов разделения блок-участков в системе СИРДП-Е чтобы гарантировать интервальное регулирование движения поездов в случаях отсутствия надежной радиосвязи. Дублирование каналов передачи данных между поездом и центром управления осуществляется с помощью виброакустического зондирования DAS с использованием волоконно-оптической кабели [15, 16] и дополнительных датчиков обнаружения поезда на участке. На рисунке 3 продемонстрированы принципы организации движения поездов при указанных двух методах.

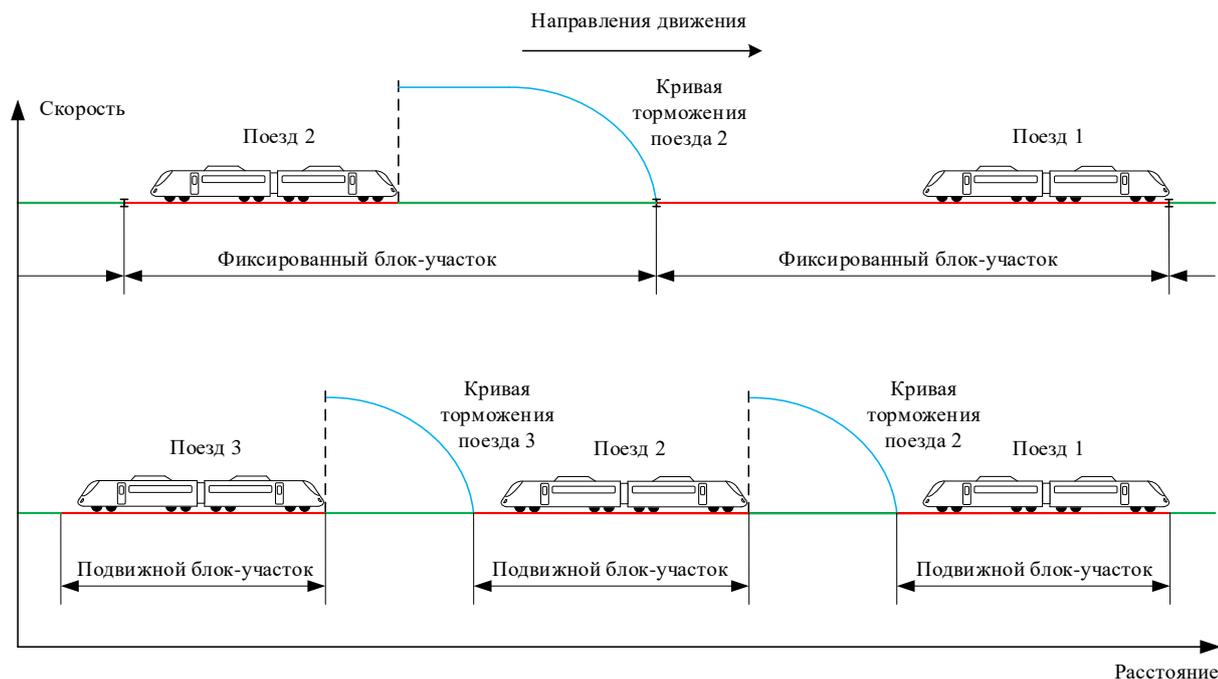


Рисунок 3 – Методы интервального регулирования

Результаты и обсуждения.

В данных исследованиях оценки эффективности методов интервального регулирования движения поездов осуществлялся на основе среды микроскопического моделирования OpenTrack [17]. Для проведения исследований выбран действующий железнодорожный участок между станциями Курозек-Екпинди-Жарсу протяженностью от осей станций 40,4 км. Структура исследуемого участка показаны на рисунке 4.

В настоящее время на указанном участке действует система интервального регулирования СИРДП-Е с технологией подвижных блок-участков без резервирования каналов передачи управляющих приказов между центром управления и поездов, по участку преимущественно организуются движения грузовых поездов с максимальной участковой скоростью 68 км/ч, а технической скоростью – 74 км/ч.

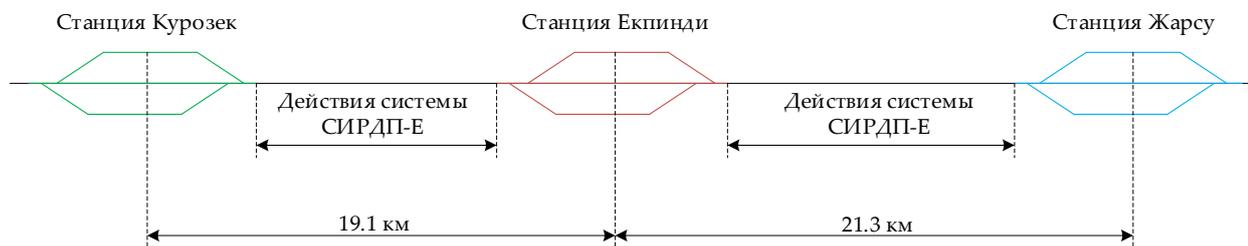


Рисунок 4 – Структура исследуемого участка

OpenTrack позволяет моделировать организацию движения поездов как с фиксированной, так и с подвижными блок-участками, но в данном исследовании для каждого из случаев разработаны отдельные модели с целью анализа и оценки двух указанных методов.

При разработке модели в качестве исходных данных использовались параметры локомотива, категории поездов, инфраструктура (верхняя строения пути, максимальная

разрешенная скорость движения по перегону и станциям, уклоны пути, длины блок-участков, принципы разделения блок-участков системы интервального регулирования, вид тяги, основные и варианты маршруты и т.д.) и действующий график движения поездов.

На данном участке при автономной тяге эксплуатируются локомотивы серии ТЭ33А. На основе технических параметров указанного локомотива в среде OpenTrack определена кривая силы тяги (рисунок 5), которая является одной из важных параметров для моделирования.

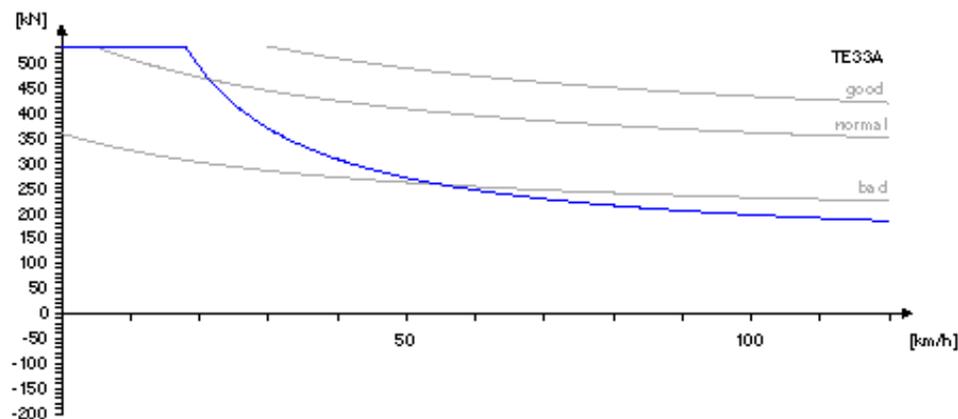


Рисунок 5 – Кривая силы тяги тепловоза ТЭ33А определенной в среде OpenTrack

В ходе моделирования организации движения грузовых поездов № 3002 и №3004, курсирующего между станциями Курозек-Екпинди-Жарсу железнодорожного участка Жетиген-Алтынколь с применением координатного метода интервального регулирования при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участков и соблюдением критериев входных параметров были получены сравнительные результаты в среде микроскопического моделирования OpenTrack, которые отражены в виде графиков зависимостей различных параметров.

На рисунке 6 отражены графики зависимости пройденного пути от времени при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках. Из сравнительных графиков можно определить моментальный запуск движению поезда при системе подвижных блок-участков в сравнениях с системой, фиксированных блок-участков.

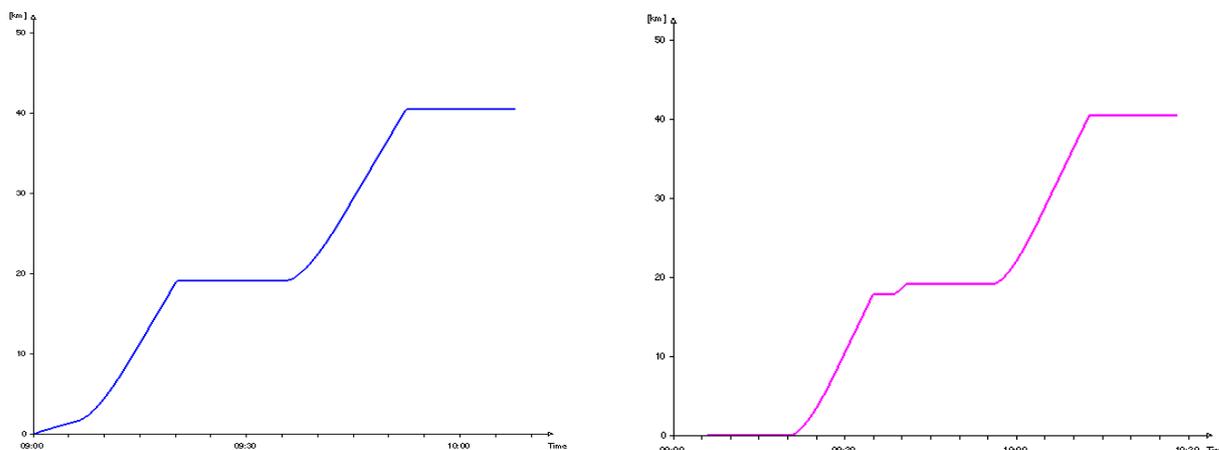


Рисунок 6 – Графики зависимости пройденного пути от времени при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках

На рисунке 7 представлены графики зависимости ускорений поезда от времени при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках полученные в среде OpenTrack.

Из графиков зависимости скорости движения поезда от времени при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках представленной на рисунке 8 можно сделать вывод, что скорости движения поезда при двух методах одинаковые, но старт движения поезда происходит быстрее при системе подвижных блок-участков.

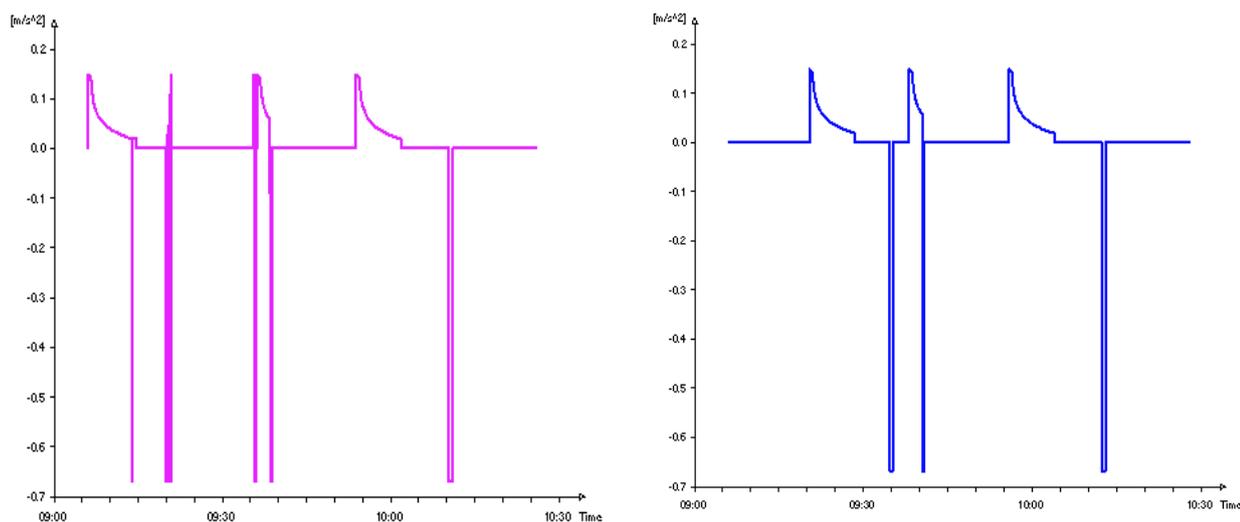


Рисунок 7 – Графики зависимости ускорений поезда от времени при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках

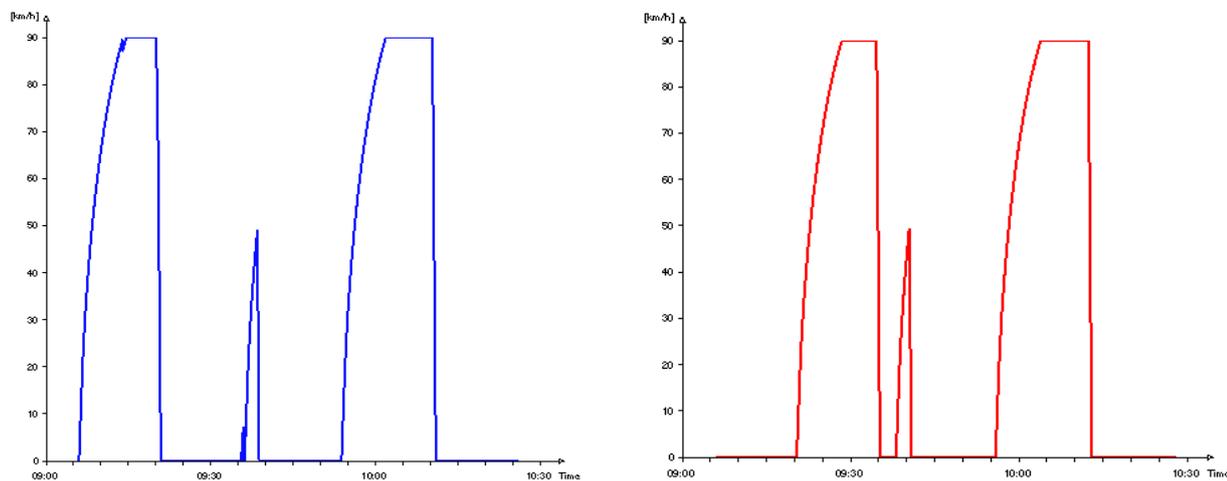


Рисунок 8 – Графики зависимости скорости движения поезда от времени при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках

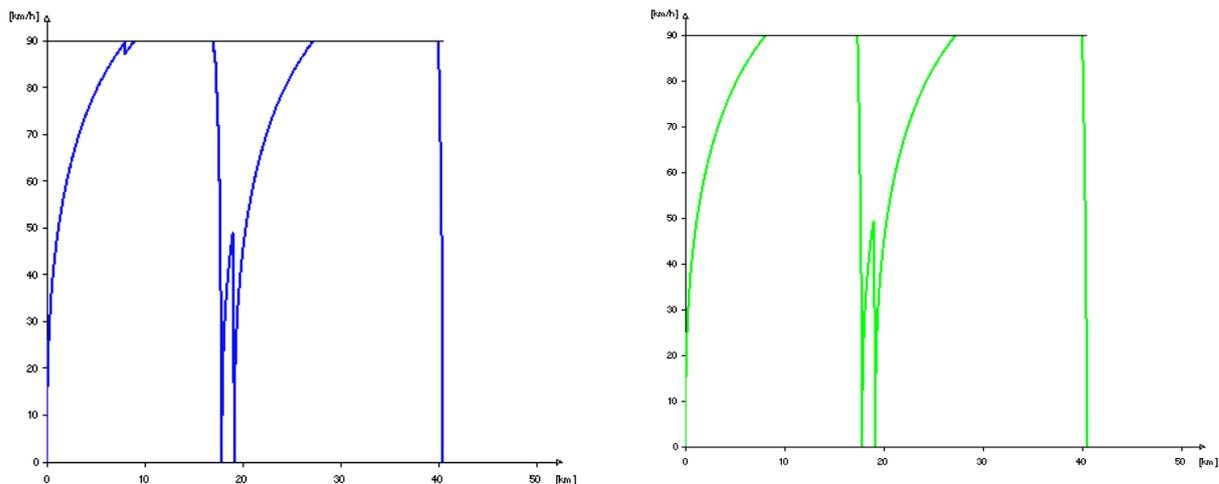


Рисунок 9 – Графики зависимости скорости движения поезда от расстояний при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках

На рисунке 10 показана графики зависимости ускорений поезда от расстояний при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках и из графика определяется идентичность развитие ускорений движения поездов при двух методах интервального регулирования.

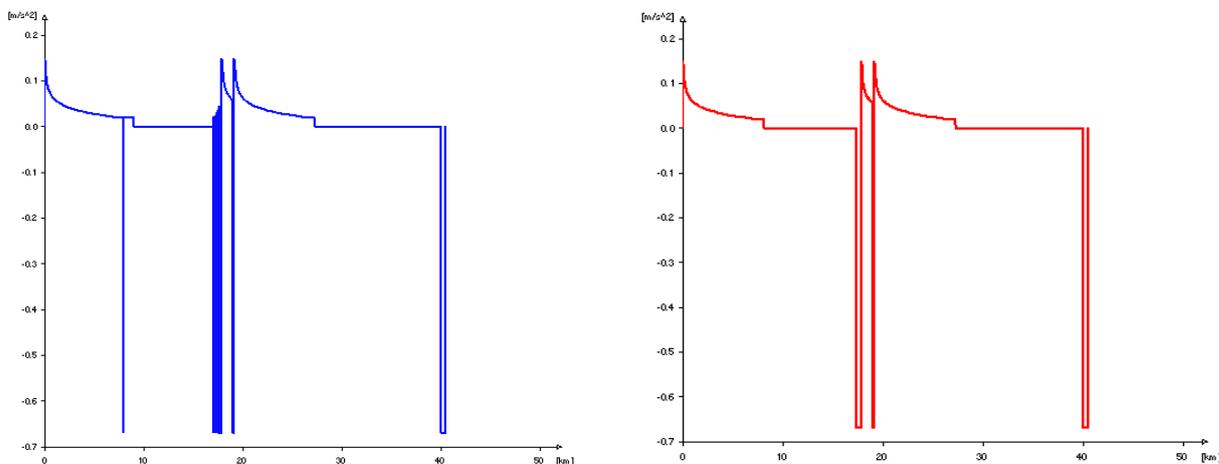


Рисунок 10 – Графики зависимости ускорений поезда от расстояний при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках

Графики представленное на рисунке 11 демонстрирует зависимости механической энергий поезда от расстояний 40 км линии Курозек-Жарсу при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках. Из графика определяется идентичное распределения механической энергий с небольшими отличиями при сравниваемых двух методах интервального регулирования.

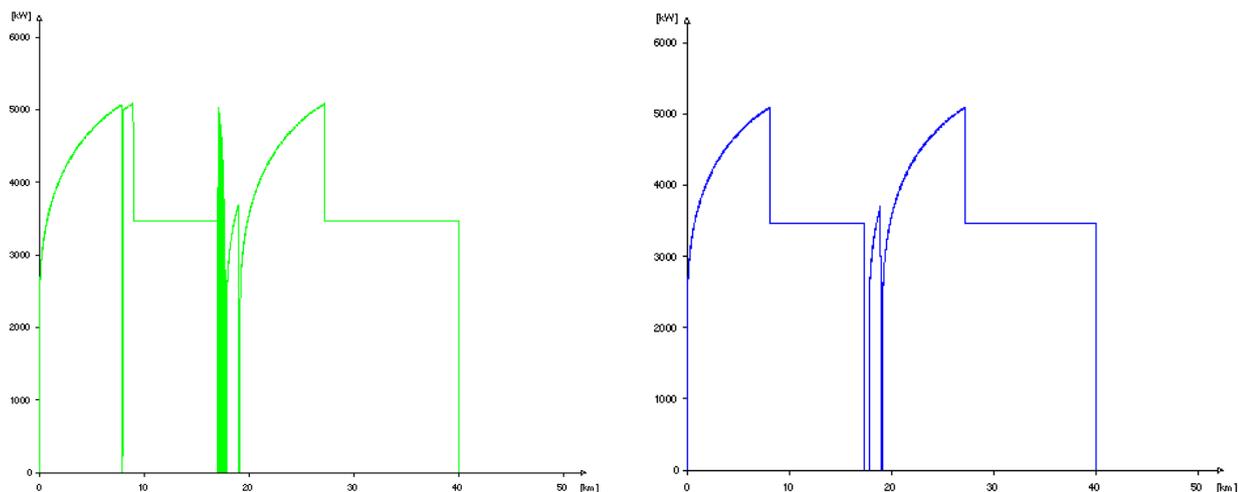


Рисунок 11 – Графики зависимости механической энергий поезда от расстояний при подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участках

OpenTrack предлагает оценки движения поездов в виде графиков. Полученные графики различных зависимостей в результате моделирования исследуемого участка позволяют определить параметры поезда для эффективной организации движения поездов на участке железной дороги.

На рисунке 12 представлены графики движения моделируемых грузовых поездов при организации движения с методом подвижных (слева) и фиксированных (справа) блок-участков.

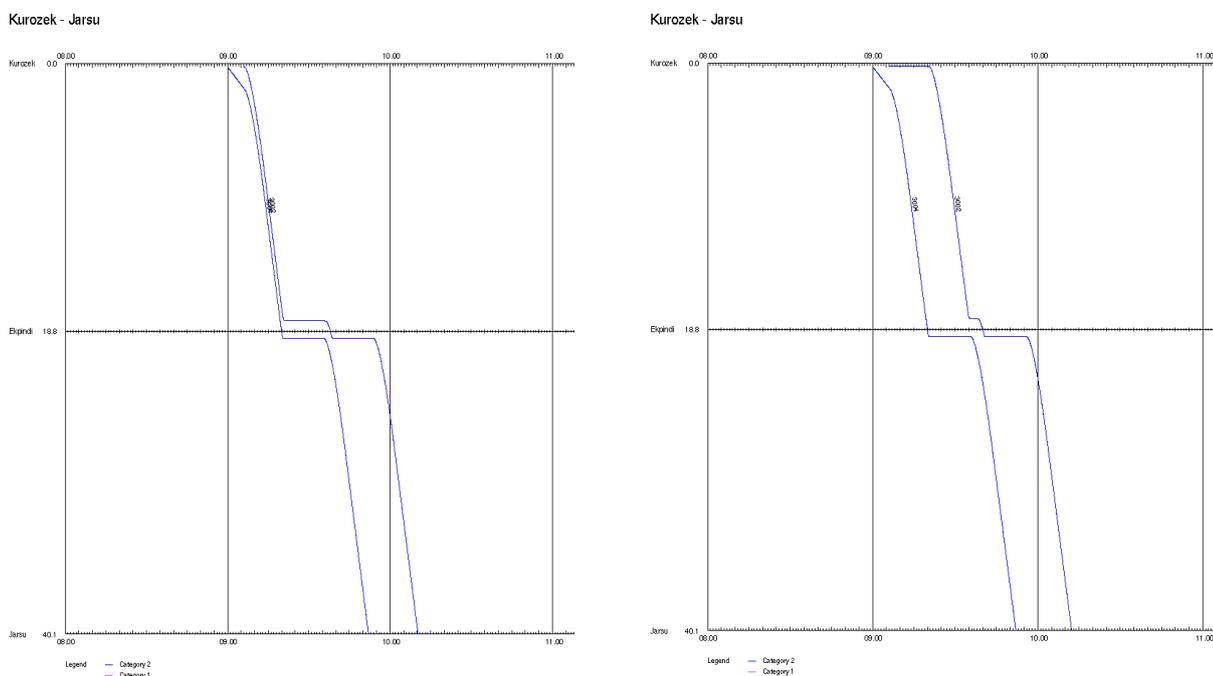


Рисунок 12 – Графики движения моделируемого поезда

По графику можно определить сокращение интервала между поездами при организации движения с методом подвижных блок-участков. При сокращениях

межпоездных интервалов повышается пропускная способность участка, происходит экономия топлива, сокращается время доставки грузов и т.д.

Заключение.

В ходе исследования методов интервального регулирования движения поездов на основе микроскопического моделирования OpenTrack было установлено, что при организации движения поездов с технологией подвижных-блок участков максимально сокращается межпоездной интервал (рисунок 12), в сравнениях с технологией, фиксированных блок-участков. Кроме того, полученные графики зависимостей в среде моделирования OpenTrack показали аналогичность некоторых полученных параметров оцениваемых двух технологий (например, рисунок 8).

В результате, дублирование двух методов интервального регулирования в одну систему согласно [13] позволяет повысить пропускную способность железнодорожного участка, так как предлагается гарантированное интервальное регулирование движения поездов одной из двух методов.

Финансирование. Статья выполнена в рамках исследования, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН AP15473668 «Исследование и оптимизация алгоритмов интеллектуальной цифровой системы управления движением поездов»).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ефремов А. КЖТ расширяют масштабы внедрения радиоблокировки с подвижными блок-участками СИРДП-Е / А. Ефремов // Железные дороги мира. - 2015. - № 10. - С. 62-64.
- [2] Орунбеков М., Сүлейменова Г. Анализ координатных систем интервального регулирования движения поездов // Вестник КазАТК. – 2023. – Т. 124. – №. 1. – С. 307-314.
- [3] Dick C.T. et al. Relative capacity and performance of fixed-and moving-block control systems on North American freight railway lines and shared passenger corridors // Transportation research record. – 2019. – Т. 2673. – №. 5. – С. 250-261.
- [4] Roscoe G., Dick C.T. Comparing the Effectiveness of Fixed, Virtual, and Moving Block Train Control Systems on a Mixed Single-and Double-Track US Freight Rail Corridor // Transportation Research Record. – 2023. – С. 03611981231158641.
- [5] Ranjbar V., Olsson N. O. E., Sipilä H. Impact of signalling system on capacity – Comparing legacy ATC, ETCS Level 2 and ETCS Hybrid Level 3 systems // Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2022. – Т. 23. – С. 100322.
- [6] Himrane O., Beugin J., Ghazel M. Implementation of a Model-Oriented Approach for Supporting Safe Integration of GNSS-Based Virtual Balises in ERTMS/ETCS Level 3 // IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2023.
- [7] Liu R. Simulation model of speed control for the moving-block systems under ERTMS level 3 // 2016 IEEE international conference on intelligent rail transportation (ICIRT). – IEEE, 2016. – С. 322-327.
- [8] Bažant M., Bulíček J. Impact Assessment of Interlocking Systems on Single-Track Railway Lines as a Measure Leading to Resilient Railway System // Journal of Advanced Transportation. – 2022. – Т. 2022.
- [9] Roscoe G., Tyler Dick C. Comparing the Efficiency and Effectiveness of Different Train-Following Control Algorithms for Fleets of Heavy-Haul Freight Trains under Moving Blocks // Transportation Research Record. – 2023. – Т. 2677. – №. 1. – С. 446-459.

[10] Wojcik, W., Orunbekov, M., Toygozhinova, A., Seitbekova, A. Difficulties in TETRA operation with moving block in Kazakhstan //Przeglad Elektrotechniczny. – 2020. – Т. 96. – №. 9. – С. 129-132.

[11] Hoang T.S., Butler M., Reichl K. The hybrid ERTMS/ETCS level 3 case study //Abstract State Machines, Alloy, B, TLA, VDM, and Z: 6th International Conference, ABZ 2018, Southampton, UK, June 5–8, 2018, Proceedings 6. – Springer International Publishing, 2018. – С. 251-261.

[12] Butler M. et al. Introduction to special section on the ABZ 2018 case study: Hybrid ERTMS/ETCS Level 3 //International Journal on Software Tools for Technology Transfer. – 2020. – Т. 22. – С. 249-255.

[13] Патент 7983 Республики Казахстан, МПК В61L 27/00. Система интервального регулирования движения поездов с координатным методом контроля / М.Б. Орунбеков, Г.А. Сүлейменова, Ж.Е. Шукманов, Р.Т. Қасым, А.М. Сейтбекова; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Академия логистики и транспорта»; заявл. 07.02.2023; опубл. 21.04.2023, бюл. №16.

[14] Pacht J. Railway signalling principles //Braunschweig, Jun. – 2020.

[15] Сарбаев С.Ш., Орунбеков М.Б., Рамиева М.С. Перспективы применения и внедрения технологии DAS в системах железнодорожной автоматики и телемеханики //Вестник КазАТК. – 2019. – №. 1. – С. 152-160.

[16] Wiesmeyr C. et al. Real-time train tracking from distributed acoustic sensing data //Applied Sciences. – 2020. – Т. 10. – №. 2. – С. 448.

[17] Daniel Huerlimann, Andrew B. Nash. Manual OpenTrack. Simulation of Railway Networks. Version1.9, Zürich, 2019.

REFERENCES*

[1] Efremov A. KZhT rasshirjajut masshtaby vnedrenija radioblokirovki s podvizhnymi blok-uchastkami SIRDP-E / A. Efremov // Zheleznje dorogi mira. - 2015. - № 10. - S. 62-64.

[2] Orunbekov M., Sylejmenova G. Analiz koordinatnyh sistem interval'nogo regulirovanija dvizhenija poezdov //Vestnik KazATK. – 2023. – Т. 124. – №. 1. – S. 307-314.

[3] Dick C.T. et al. Relative capacity and performance of fixed-and moving-block control systems on North American freight railway lines and shared passenger corridors //Transportation research record. – 2019. – Т. 2673. – №. 5. – S. 250-261.

[4] Roscoe G., Dick C.T. Comparing the Effectiveness of Fixed, Virtual, and Moving Block Train Control Systems on a Mixed Single-and Double-Track US Freight Rail Corridor //Transportation Research Record. – 2023. – S. 03611981231158641.

[5] Ranjbar V., Olsson N. O. E., Sipilä H. Impact of signalling system on capacity – Comparing legacy ATC, ETCS Level 2 and ETCS Hybrid Level 3 systems //Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2022. – Т. 23. – S. 100322.

[6] Himrane O., Beugin J., Ghazel M. Implementation of a Model-Oriented Approach for Supporting Safe Integration of GNSS-Based Virtual Balises in ERTMS/ETCS Level 3 //IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2023.

[7] Liu R. Simulation model of speed control for the moving-block systems under ERTMS level 3 //2016 IEEE international conference on intelligent rail transportation (ICIRT). – IEEE, 2016. – S. 322-327.

[8] Bažant M., Bulíček J. Impact Assessment of Interlocking Systems on Single-Track Railway Lines as a Measure Leading to Resilient Railway System //Journal of Advanced Transportation. – 2022. – Т. 2022.

[9] Roscoe G., Tyler Dick C. Comparing the Efficiency and Effectiveness of Different Train-Following Control Algorithms for Fleets of Heavy-Haul Freight Trains under Moving Blocks //Transportation Research Record. – 2023. – Т. 2677. – №. 1. – S. 446-459.

[10] Wojcik, W., Orunbekov, M., Toygozhinova, A., Seitbekova, A. Difficulties in TETRA operation with moving block in Kazakhstan //Przeglad Elektrotechniczny. – 2020. – Т. 96. – №. 9. – S. 129-132.

[11] Hoang T.S., Butler M., Reichl K. The hybrid ERTMS/ETCS level 3 case study //Abstract State Machines, Alloy, B, TLA, VDM, and Z: 6th International Conference, ABZ 2018, Southampton, UK, June 5–8, 2018, Proceedings 6. – Springer International Publishing, 2018. – S. 251-261.

[12] Butler M. et al. Introduction to special section on the ABZ 2018 case study: Hybrid ERTMS/ETCS Level 3 //International Journal on Software Tools for Technology Transfer. – 2020. – Т. 22. – S. 249-255.

[13] Patent 7983 Respubliki Kazahstan, MPK B61L 27/00. Sistema interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov s koordinatnym metodom kontrolja / M.B. Orunbekov, G.A. Sylejmenova, Zh.E. Shukamanov, R.T. Qasym, A.M. Sejtbekova; zajavitel' i patentoobladatel' Akcionernoe obshhestvo «Akademija logistiki i transporta»; zajavl. 07.02.2023; opubl. 21.04.2023, bjul. №16.

[14] Pachl J. Railway signalling principles //Braunschweig, Jun. – 2020.

[15] Sarbaev S.Sh., Orunbekov M.B., Ramieva M.S. Perspektivy primenenija i vnedrenija tehnologii DAS v sistemah zhelezodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki //Vestnik KazATK. – 2019. – №. 1. – S. 152-160.

[16] Wiesmeyr C. et al. Real-time train tracking from distributed acoustic sensing data //Applied Sciences. – 2020. – Т. 10. – №. 2. – S. 448.

[17] Daniel Huerlimann, Andrew B. Nash. Manual OpenTrack. Simulation of Railway Networks. Version 1.9, Zürich, 2019.

Максат Орунбеков, магистр, сениор-лектор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, m.orunbekov@alt.edu.kz

OPENTRACK ОРТАСЫНДА МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ ПОЙЫЗДАРДЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУ ӘДІСТЕРІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Мақала бекітілген және жылжымалы блок-телімдер технологияларын қолдана отырып, пойыздар қозғалысын интервалды реттеу кезінде Жетіген-Алтынкөл темір жол желісінің өткізу қабілетін салыстыру және айқындау нәтижелерін талдайды. Талдау Жетіген-Алтынкөл желісінде орналасқан Құрөзек-Екпінді-Жарсу темір жол телімінің, жылжымалы құрамның, ТЭЗЗА сериялы локомотивтің және интервалды реттеу жүйесінің параметрлерін пайдалана отырып, OpenTrack микроскопиялық модельдеу ортасы арқылы жүргізілді.

Зерттеулердің нәтижелері бекітілген блок-телімдер жүйесімен салыстырғанда пойыздар арасындағы интервалдарды қысқартуға мүмкіндік беретін жылжымалы блок-телімдер технологиясын қолданудың тиімділігін көрсетті. Пойыздар арасындағы интервалдардың қысқаруы телімнің өткізу қабілетін арттыруға ықпал етеді және экономикалық тиімділіктің кепілі болып табылады.

Түйінді сөздер. СИРДП-Е, бекітілген блок-телім, жылжымалы блок-телім, микроскопиялық модельдеу, OpenTrack, бағалау

Maxat Orunbekov, master's degree, senior lecturer, Academy of logistics and transport, Almaty, Kazakhstan, m.orunbekov@alt.edu.kz

EVALUATION OF INTERVAL TRAIN CONTROL METHODS BASED ON MODELLING IN OPENTRACK ENVIRONMENT

Abstract. The article analyses the results of comparison and determination of the capacity of the Zhetigen-Altynkol railway line under interval train control with the use of fixed and moving block section technologies. The analysis is carried out by means of OpenTrack microscopic modelling using parameters of the operating railway section Kurozek-Ekpindi-Zharsu of Zhetigen-Altynkol line, rolling stock, locomotive of TE33A series and interval regulation system.

The obtained results of the research showed the effectiveness of the application of moving block technologies, allowing to reduce inter-train intervals compared to the system of fixed block. Reduction of inter-train intervals contributes to the increase of the section capacity and is the key to economic efficiency.

Keywords. SIRDP-E, fixed block, moving block, microscopic modelling, OpenTrack, evaluation.
